

Title	脳科学研究から心の理解へ愛は脳を活性化する(「非平衡系の統計物理」研究会(その1),研究会報告)
Author(s)	松本, 元
Citation	物性研究 (1992), 59(1): 38-46
Issue Date	1992-10-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/94971
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

脳科学研究から心の理解へ 愛は脳を活性化する

電子技術総合研究所 超分子部
松本 元

はじめに

今日、人と人、人と社会、社会と社会の間で情報が頻りに交換され、人に関する情報がコンピュータによって処理され、それが社会で生かされている。このコンピュータが人にかかわる問題に発展する。そこで人の情報を緻密に捉えるコンピュータが必要とされるのである。

脳は学習によって知識を獲得し、その知識に基づいて情報を処理する。これに対しコンピュータはプログラムに基づいて情報を処理し記憶する。コンピュータが情報を処理し記憶するためには、人がコンピュータにどのような情報処理をどのような手続に従って行うかをプログラムという形で命令しなくてはならない。すなわち、コンピュータがどんなに高度で緻密に且高速に情報処理を行うとしても、コンピュータは人の命で動く機械にすぎない、のである。これに対し、脳は自律的に情報を選択し処理する。脳が協調的に機能する動機は、情動による。この事は「人に近いコンピュータ」を開発することの第一歩として脳研究を通して「人とは何か」を科学的に明らかにすることになる。

人を物質科学としての脳研究の立場からどこまで理解しようか、というのとは科学者としての夢である。人は夢を抱き、その夢の実現を願って活動している。夢を実現するためには、どのような問題設定しそれをどのような手法によって解決しようとするかは研究者によって異なる。われわれは、人（あるいは心）の理解は脳の学習・記憶の解明にある、と考えている。特に、情動（emotion）に関する学習・記憶の解明に、その鍵がある、と考えている。これは、従来理工学者が脳に関心を持ったとき、主として脳での演算（情報処理）の妙に注目してきたのと、対象的である。理工学者はコンピュータとの対比において、脳のパターン情報処理・自然言語処理・推論など、現在のコンピュータ技術ではとても果たし得ない脳の情報処理能力に注目してきた。しかし、こころでは脳の機能を学習・記憶と演算（情報処理）に分けて考えると、学習・記憶に注目する。学習・記憶の基礎はシナプスの可塑性、神経系の連合性、生体系が非平衡系であることによって生じる非線形性にあると考えられる。また、脳の研究を物質科学の立場からすすめるための技術開発もきわめて重要である。脳は100億個の神経細胞から成る巨大なシステムである。脳の学習・記憶および情報処理の物質的基盤はこれらの神経細胞の協調的な活動である。従って、脳の理解のためには、脳での神経活動を多点（10,000点以上）から実時間計測できる技術の開発などが必須

である。脳の活動状況を電極を神経細胞に刺入することなしに、これと同等な信号を脳の10,000箇所以上の部位より実時間に計測することで、脳活動の空間・時間パターンを得る方法などの技術開発が脳の飛躍的理解につながる、と信じるからである。

以上のような背景で、脳から心の理解へ、物質科学としての脳・神経科学研究を基盤にどのようにアプローチするか、また現在この方向のアプローチでどのように成果があがっているかを概説する。

2. 学習・記憶の特性が個性をきめる

心については、従来心理学・哲学・宗教が主として扱ってきた研究対象である。最近、脳科学の立場から心を理解しようという野心的試みがなされている(1-3)けれど、物質科学としての脳・神経研究から心の理解への切り口については未だ明らかではない。ここではこの切り口を考察し、「人とは何か」についての仮説を提案し、この立場から心の理解のために脳の学習・記憶のメカニズムの解明が極めて重要であることを述べたい。

学習・記憶が心の生理学的基礎を与えるものであることを示す為に、長期記憶の例を考える。長期記憶には次の4つの特徴がある(4):

- 1) 学習によって、外界の情報を脳内に固定化する(貯える)。
- 2) 貯える情報は5感からの感覚入力情報とこれに関する情動(emotion: 好き嫌い恐ろしいうれしい-----などの感情)情報が互いに連合した形で、また情報の時間順序とともに貯えられ、逆にこれらの連合性をもとに呼び出される。
- 3) 貯えた情動情報は意識下に蓄積する。
- 4) 長期記憶として貯えられた記憶は一生涯脳の痕跡として留まり消すことができない(non-erasable)。

以下でこれらの各項目について考察し、最後にこの4つの特徴がわれわれの心といかに直接関係するかについて述べる。

まず、(1)の学習によって外界から知識(情報)を獲得し記憶する、という点について考察しよう。学習の生理的基礎はシナプスの可塑性である。従って、ある情報が脳によって学習されるための基本的要件は、生物個体がその情報を強い刺激として受けとめることができるものである、ということであろう。この場合、情報を受けるものがある特定の可塑性シナプスを有する神経回路であるならば、その神経回路にとっの強い刺激情報が回路を固定化する。ここでは、心の問題を念頭においての脳の学習を考えるので、生物個体にとっての強い刺激情報とは何か、を考える。勿論、まず第一に生命維持に関する情報は強い情報となる。脳は、生物個体が生存のための営みを実行するのを助けるために特殊化した器官である(5)、といえるほど、生命維持に関する情報は強い刺激として脳で受けとられる。われわれが、一度でも自動車と衝突するというような生命を脅かす事件に遭遇するとこの事件は一生忘れられない記憶として脳に固定化されよう。勿論、食・飲・性などに関する情報も生存の営みに関係した情報で、われわれにとって強い刺激となり得る。これらは、いわゆる情動情報であり、人も動物も共有する脳内過程である(6)。人の脳では生命維持よりもさらに強い情報として、「自

ち、自ら覚める。報告を過度の過動で、か動と対し、視刺激
あり、「考に、れ情は内こしど内特問えり重刺
す。わてと我がが快与はな脳るかう。脳のいかよ強
（4）。報思てるとき起考腦報もいのきう。ある伝といをも
うるかわか判定動をし不快けいか歩きで定でか。神性を最
ろ関のそ言さ的に走し、物りか2とい」と己るろ。
あに他に、深会）処示動とるはこ深か化人る自わな
が性的期、義社会）的をとり人を意義進「すにかに
報精神ま伝年意き非本動間分て。す意どこに。義らかと
情精りと遣青るとる基行人自れる。別がくもよをも性う
の、とはけるゆの快。「わす区分るもよをも性う
」て、をですおれわ報に。」「くをけ人り神い
かし自分成におれ情報に。」「くをけ人り神い
うと自分が世思（動た点に動物「くをけ人り神い
ど報、程がのと動情れらうあ点で、ちっ過程、づによ精と
か情と、識この行いくかいで2で、わと思内を生命維した
る動る内認のィ的行てすと在のとなが脳人のめし自分の修養
あ情あ脳自己分のテ系がえ示か存いた点のめし自分の修養
でるでる自自ジ社会を動か深い、た点のめし自分の修養
存在する、ポ反縁を動え深うし2他たとこ自とう
区別認識は、とがと辺報行意義ど得記くの物、はこよう
い区い認でる果う脳情快を意か獲上ま意識動て、はこよう
深を深を間な結果大快不識がるを、り認たし人いと
義物義」人にの・に認分す語は、と己しといとけ
意動意か。頃定ブ幹と、人己自有言でを自得えしといとけ
分人がうる。判定ブ脳得れた中でをたこ分と獲答えしといとけ

次に、(2)の貯える情報は情動情報で必ず色付けされ、連合されて記憶される、という点に於いて、LeDouxのネズミの古典的条件学習の脳内情報伝達路に関する実験がある(7-13)。ネズミに条件刺激として足にショックを与える。この2つの組み合わせによる逃避行動(血圧上昇と身体硬化)を起す。LeDouxたちは、ブザー音に対してネズミのこの不愉快行動の脳内情報伝達過程を、脳内の局所部位にマーカー(神経細胞を順行性に輸送されるWGA-HRP; Wheatgerm glutem conjugated Horseradish Peroxidase と PHAL; phaselous や逆行性に輸送されるfluorogoldなど)を用いての聴覚入力→脳→運動出力への径路決定、脳のいろいろな局所の損傷を行っての動物行動観察などに よって詳しく研究した。この結果、聴覚入力は視床を通過して扁桃体に直接入力する径路と大脳皮質の聴覚野を介して直接ある(図1)、こ とを見いだした。そして、扁桃体に入力する2つの径路がある(図1)、こ とを見いだした。そして、扁桃体の中心核から出力し、血圧上昇などの関与する自律反応は外側視床下部を通過して自律神経系へ、また身体硬などには関与する反応は中心灰白質を介して運動系へ、それらの最も重要な機能とは、情動の発現とその行動的表現の発現・処理・表現の過程で辺縁系がどのような処理を行い、この中で扁桃体や海馬などがどのようにして情動のされつつある(14-19)。いづれに扁桃体で聴覚情報は音の識別と共に扁桃体

動過レ認識とク体あわれ
 情処理が認_ヨ扁桃が初思
 快処低い(1)は入をと
 不報遅い(表の位覚の
 する情の遅(へ部感視も
 対至はめる足るのはつ
 音動してたいがれて程立
 一行とすれ反化す内成
 ザ学習認識要さの定は脳に
 プも、情報数構成刺してよ
 ても、情段に件し縁い同
 して、結果がス列条と辺つ
 壊結早ナら音記録(13)に
 破のよりシか一動入い
 全にこよりなど、ザ情る覚
 完た。によりなて会いて情
 をみ入介のし出の聴に
 野と接をもそと推定た感
 覚この直質の。応推定た感
 聴この皮質の。反と推定た感
 脳るへ脳べれのうLeDouxの
 大す体大レさの刺激ある
 た成立桃の、いかに刺あす
 はが扁の、高か条件で、
 たちは、のより明無側核の
 学習は、のより明無側核の
 学習は、のより明無側核の

[illegible]

いん渡つれ人を歸れさが
つさ手お忘い言夫ま父と
に奥にたを良雜の込おこ
かのんな我で口こち頃る
るそさあ、厚悪ら持のあ
す、奥「り、温にかへ供の
明て、を、怒をちれ所子驗
説い物く、くんうそ判は体
にが品な如さい。裁ん児
様婦てげの那なた。庭さ幼
の夫っに火旦那らっ家那う
どい戻な烈で判ま、旦い
を若らがはまかしり、旦い
性いいかん那今だてなこた
個良いさ旦那はんいにとし
のの使奥端んな抱とたバ
人仲お、途さがをこけバ
がてがろ、た奥に感う受コ
徴め那こい。な信いをネ
の特極旦と聴たり不とグを
の：。たをつなに婚ンリ
憶うだ。しれまき那離リつ
記そんとこしい旦てセお
・示頼う。て、後えンて
学習でをよたしに、以冷ウれ
のな使離き罵たそ速、頼
らのおらとをい、急で、頼
れ体にか」なんて、はこ物
こ具那こ？さっ柄そ買
て、旦そは奥思わ間のた。ん

発見された。すなわち、旦那さんは「お父さんにおつりを返さなければいけない」と思いつつ返さないで、精神性に関すなわち、ポシティブな強い刺激として「おつり」という言葉と「自己嫌悪」などネガティブな強い連合させ、潜在記憶下に蓄積してしまっただけで、それは、もう遠い昔のこととして本人は意識の下にしまっただけで、もう思い出せる程度のもので、たとえばカウンセラーとの長い対話の中で、ようやく思いつく。奥さんか昔とどこか同じ状況かを思わせる雰囲気の中で「あなたはおつりは？」ときかれ、あたかも脳に強い電気ショックを受けたように(1)、「おつり」という言葉にまつわるあんな忌まわしい精神的嫌悪の情が引き出され、自分以上に、いふだん良くなりてくれる奥さんがその時急に憎らしい存在に見えて罵倒し、悪口雑言の限りをつくし、てしまっただけで、生れかたに、今日の至るまでの多くの経験の中で強い情動を経験するものが人ではないだろうか。「私には何でこんなことで腹が立つのだろうか」、「私にはなぜこの人が好きなのだろうか」など、と不思議に思うときがある。それは、このような脳の記憶の仕組みによって、一人一人の生まれ育ちの体験が異なるので、個性も一人一人異なるのである。

3. 愛は脳を活性化する

生物は非線形非平衡系であり、脳もまたそうである(21)。脳の情動性に伴って、脳活動の活性が強く調節される。すなわち、ポシティブな情動情報を受けると、脳は活性化し、ネガティブな情動情報で不活性となる。もっと具体的に、人は自分の存在が意味深いと思えたとき、脳が活性化し、いきいきと生きられるのである。このことに直接関連するケースにかかわる機会を得て、この仮定は一步実証の方向に向かったと思われる：1988年11月18日の夕方、つくば市のある高校一年生(当時)男子が帰宅途中自動車と衝突し、右頭蓋骨陥没、右大脳半球広範部(前頭葉・側頭葉・頭頂葉)に急性硬膜下血腫・硬膜外血腫を起し、さらには外傷によるクモ膜下出血、強い脳腫張により大脳半球の左方への扁平位とこれに伴う鉤ヘルニアを起すなどによって、意識不明の重体となり、右脳の広範囲な外減圧術を行うことにより、術後三日目のX線CTでは硬膜外水腫が残るが事故による脳の正中偏位はほぼ消失したが、右大脳半球(前頭葉・側頭葉・後頭葉)に脳挫傷に伴う遅発性脳内血腫があり、脳室内血腫もみられた。脳外科の執刀医の先生が家族に対し、「手術としては現代医学の技術として最前をつくしうまく行ったが、植人物人間となる可能性が非常に高い」と言われた程、手術時の状態はきわめて悪かった。しかし、ご家族の方は集中治療室(ICU)に隔離され、たまにゆだねず、ベットサイドに毎日の大半をともに過ごすようにして、この子の存在を喜んで語りかけ愛撫をつづけ、まったく動かない手や足を何時間もさすり話しかけ、毎日でしどくのがみられ、力を得てこれに始めてこの子の左半身がピクリと少し動くのがみられ、この頃に於いて

[illegible]

4. おわりに 一人を知って科学技術文明をきづく

こうして、脳の学習・記憶の理解が「人とはなにか」に物質科学からアプローチする道である、と考えられる。そしてこの為の手法においても、ここでの考察は極めて有用である。脳の学習・記憶の解明を目標

として研究を進めるとき、われわれ自身の独自性をいかすことが、研究社会にあってわれわれ研究グループの存在が意義深いものとなろう。もっと卑近な言葉でいうなら、われわれのグループも脳の学習・記憶の研究を進めているというのではわれわれが研究を行う意味はない。われわれのグループでなくてはできない脳の学習・記憶の研究を進めてこそ、脳の研究社会の中ではじめて存在が喜ばれるものとなり、われわれ自身も活性化しよう。その観点から、おそらく脳を研究する他所では行い難く且その開発によって脳研究が飛躍的な進歩をみるであろうと考え、脳活動の多点（256-16,384点）実時間光計測システムの開発を進め成功した(22)。脳から心への理解の研究と考察は、自分の脳の活性化のみならず自分たちの研究テーマの設定の指針、研究を含めた人生全般での困難や障壁などの克服について教えてくれるだけでなく、次の点についても極めて重要である：

- 1, 脳というチューリングマシンとまったく原理が異なるが計算汎用性をもつと考えられる情報処理・学習記憶システムの理解。これは純粋な科学的興味であるが、情報工学の立場からこの理解は極めて有用であろう。それ故、この研究をバイオコンピューティングと呼ぶことができる。
- 2, 人を科学的に理解することで、科学技術の使い方が明らかになり、人類が科学技術文明をはじめて開花することができよう。従来の科学は主として自然の中の死に物を対象に作られた自然哲学観より成っている。死に物は線形世界にあり、従って要素還元主義に則っている。これに対し、生き物は本質的に非線形である。現在の科学技術が問われている問題は死に物の論理に基づく科学によって人に良かれと開発された技術が、急激な自然破壊をもたらしひいては人の生命をおびやかす。コンピュータはこのままでは人の精神性に悪い影響をもたらす(23)。自然や人の摂理を知ってこれらに適合する科学技術をどの様に進めるべきかを考えることが重要である。さらに人を知ることによって人が構成する社会のあり様も明らかになるだろう。すなわち、従来人文・社会科学が扱ってきた研究の領野を自然科学の側から研究することで科学技術文明を創りあげようというのである。この為の糸口として、人の理解を目指す脳の学習・記憶の物質科学的研究はきわめて重要な意味をもつと考える。

引用文献：

- 1) ワイルダー・ペンフィールド著、塚田裕三／山河宏訳：脳と心の正体（法政大学出版局、1987）
- 2) ロジャー・スペリー著、須田勇・足立千鶴子共訳：融合する心と脳、科学と価値観の優先順位（誠信書房、1985）
- 3) ジョン・C・エックルス著、伊藤正男訳、脳の進化（東京大学出版会、1990）
- 4) Matsumoto, G: in preparation.
- 5) Bloom, F.E., Lazerson, A. and Hofstadter, L.: Brain, Mind and Behavior (W.H. Freeman and Co., San Francisco & New York, 1985)
- 6) 小野武年・西条寿夫：大脳辺縁系と情動、感覚統合研究第8集（協同医書出版）1-55

- 7) LeDoux, J.E., Sakaguchi, A. and Reis, D.J.: J. Neuroscience 4(1983) 683-698
- 8) LeDoux, J.E., Ruggiero, D.A. and Reis, D.J.: J. Comparative Neurology 242 (1985) 182-213
- 9) LeDoux, J.E., Sakaguchi, A. and Reiss, D.J.: Neuroscience 17(1986) 615-627
- 10) Iwata, J., LeDoux, J.E., Meeley, M.P., Arneric, S. and Reiss, D.J.: Brain Research 383 (1986) 195-214
- 11) LeDoux, J.E., Iwata, J., Cicchetti, P. and Reiss, D.J.: J. Neuroscience 8 (1988) 2517-2529
- 12) LeDoux, J.E., Iwata, J., Cicchetti, P., Xagoraris, A. and Romanski, L.M.: J. Neuroscience 10 (1990) 1062-1069
- 13) Clugnet, M.-C. and LeDoux, J.E.: J. Neuroscience 10 (1990) 2818-2824
- 14) Ono, T., Fukuda, M., Nishino, H., Sasaki, K. and Muramoto, K.: Brain Res. Bull. 11 (1983) 515-518
- 15) Ono, T., Tamura, R., Nishijo, H., Nakamura, K. and Tabuchi, E.: Physiol. Behav. 45 (1989) 411-421
- 16) Nishijo, H., Ono, T. and Nishino, H.: J. Neurosci. 8 (1988) 3556-3569
- 17) Nishijo, H., Ono, T. and Nishino, H.: J. Neurosci. 8 (1988) 3570-3583
- 18) Tamura, R., Ono, T., Fukuda, M. and Nakamura, K.: Neurosci. Lett. 109 (1990) 293-298
- 19) Larry R. Squire 著, 河内十郎訳: 記憶と脳, 心理学と神経科学の統合 (医学書院, 1989)
- 20) Pavlov, I.P.: Conditioned Reflex: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex (Oxford University Press, London, 1927)
- 21) 松本 元: 神経興奮の生物物理 - 非線形非平衡系としての生物の体系的理解をめざして (松本元・大津展之編 脳とコンピュータ第3巻 神経細胞が行う情報処理とそのメカニズム: 培風館, 1991) 1-38
- 22) Ichikawa, M., Iijima, T. and Matsumoto, G.: A Real-time 16,384-site Optical System for the Measurement of Neuronal Activities in the Brain. to be submitted to J. Neuroscience Methods.
- 23) 松本元: 新しい情報処理体系をめざして - バイオコンピュータの必要性和その実現への道 (宇沢弘文・河合隼雄・藤沢令夫・渡辺慧編 岩波講座「転換期における人間 第一巻 生命とは: 岩波書店, 1989) 221-239

図 1： 五官からの感覚入力情報の大脳処理過程路の概念図と大脳よりの応答出力が筋肉系のみならず自律神経系・中枢神経系へ及ぶことの概念図・大脳辺縁系・視床などでの情動情報が快ならば快行動出力が自律神経・中枢神経系を活性化し、不快ならば不活性化する。

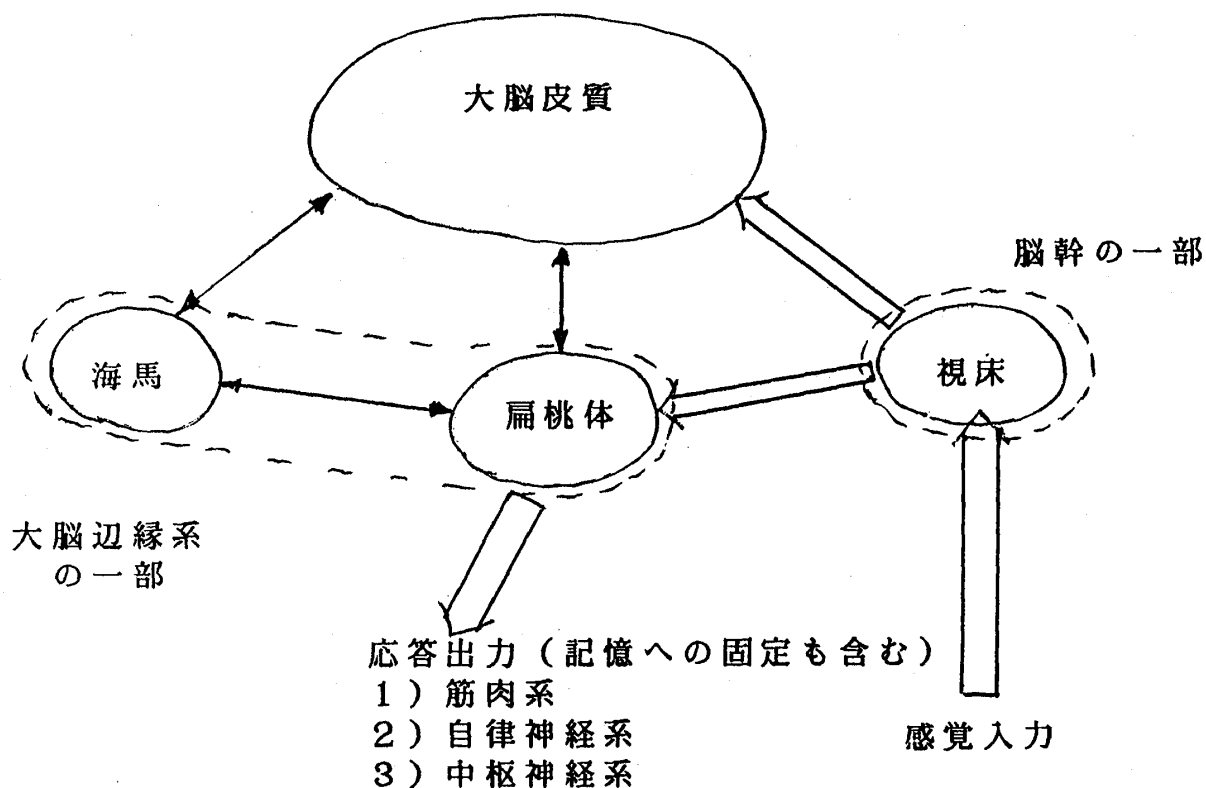


表 1； 視床－扁桃体経由の情報処理と大脳皮質－扁桃体経由の情報処理の性質の違い。

視床－扁桃体経由	粗い 速い
大脳皮質－扁桃体経由	緻密 遅い